Medis: Jurnal Inovasi Kesehatan dan Medika Nusantara
Volume: 1, Nomor: 4, (2026), Desember: 535 - 546
Website: https://ejournal.ojs-lppm.com/index.php/Medis/article/view/539
E-ISSN: 3124-8918

Pengembangan Chip Periodontal Hidrogel Berbasis Cmc–Hec dengan Enkapsulasi Ekstrak Propolis

Rini Octavia Nasution[1], Aini Hariyani Nasution[2], Irma Ervina[3], Armia Syahputra[4], Martina Amalia[5], Masyuri taufiqul haq[6], Fransiska Rohani Ivana Silalahi[7], Tasya Mayati[8]
Program Studi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Sumatera Utara, Indonesia [1,2,3,4,5,6,7,8]
Corresponding Author: rini.octavia@usu.ac.id[1*], aini@usu.ac.id[2], irma.ervina@usu.ac.id[3], armia.syahputra@usu.ac.id[4], martina.amalia@usu.ac.id[5], gilangmasyuri@gmail.com[6], silalahifransiska8@gmail.com[7], 3tasyamayati34@gmail.com[8]

Info Artikel
Received: *08 Oktober 2026*
Revised : *15 Oktober 2026*
Accepted: *26 Oktober 2026*
Published: *09 November 2026*

Keywords: *Chip Periodontal, Hidrogel, Propolis, Porphyromonas Gingivalis, Gelasi Ionik.*

Abstract
This integrated study combined three complementary laboratory experiments on hydrogel periodontal chips containing Geniotrigona thoracica propolis extract. The study evaluated hydrogel-base optimization, ionic-gelation encapsulation, and antibacterial activity against Porphyromonas gingivalis. The integrated data were obtained from experiments conducted from September 2024 to January 2025. Hydrogel formulations used carboxymethyl cellulose and hydroxyethyl cellulose at CMC:HEC ratios of 1:1, 1:2, and 1:3 with 0.2 g citric acid as a crosslinking agent. Characterization included swelling, tensile strength, Particle Size Analyzer, FT-IR, and Kirby–Bauer diffusion testing. Formulation 1 (2 g CMC, 2 g HEC, and 0.2 g citric acid) showed the highest swelling ratio (21.6830 g/g) and tensile strength (0.3273 MPa). Encapsulation of 2.5%, 5%, and 10% propolis produced particle sizes of 0.30, 0.28, and 1.39 µm, respectively, and FT-IR confirmed successful encapsulation. The non-loaded propolis extracts produced inhibition zones of 10.25, 13.60, and 16.55 mm, whereas the hydrogel chips containing the encapsulated extract produced no inhibition zone at any tested concentration. These findings indicate that successful physical characterization and encapsulation do not necessarily translate into effective antibacterial release from the chip matrix. The novelty lies in integrating hydrogel composition, encapsulation, and antibacterial performance into a single formulation-development pathway. Formulation 1 was the most promising in terms of physical properties; however, further optimization of active-compound release is required before subsequent preclinical development.

Kata Kunci*:* Periodontal Chip, Hydrogel, Propolis, Porphyromonas Gingivalis, Ionic Gelation.

Abstrak
Artikel ini mengintegrasikan tiga penelitian eksperimental laboratorium yang saling melengkapi dalam pengembangan chip periodontal berbasis hidrogel CMC–HEC dengan ekstrak propolis Geniotrigona thoracica. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi optimasi basis hidrogel, keberhasilan enkapsulasi ekstrak melalui gelasi ionik, serta aktivitas antibakteri formulasi chip terhadap Porphyromonas gingivalis. Data terintegrasi berasal dari penelitian yang dilaksanakan pada September 2024–Januari 2025 dengan rancangan eksperimental laboratorium. Variasi basis hidrogel terdiri atas perbandingan CMC:HEC 1:1, 1:2, dan 1:3 dengan 0,2 g citric acid sebagai pengikat silang. Karakterisasi

meliputi swelling, kekuatan tarik, Particle Size Analyzer, FT-IR, dan uji difusi Kirby–Bauer. Formulasi 1 (2 g CMC, 2 g HEC, 0,2 g citric acid) menghasilkan swelling tertinggi 21,6830 g/g dan kekuatan tarik tertinggi 0,3273 MPa. Enkapsulasi propolis 2,5%, 5%, dan 10% menghasilkan ukuran partikel masing-masing 0,30; 0,28; dan 1,39 µm serta dikonfirmasi melalui FT-IR. Ekstrak propolis sebelum pemuatan ke chip menunjukkan zona bening 10,25; 13,60; dan 16,55 mm, sedangkan chip hidrogel yang telah memuat ekstrak tidak menghasilkan zona hambat pada ketiga konsentrasi. Temuan ini menunjukkan bahwa keberhasilan karakterisasi fisik dan enkapsulasi belum otomatis menghasilkan pelepasan antibakteri yang efektif dari matriks chip. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi hubungan antara komposisi hidrogel, enkapsulasi, dan aktivitas antibakteri dalam satu alur pengembangan formulasi. Formulasi 1 paling menjanjikan secara fisik, tetapi diperlukan optimasi pelepasan zat aktif sebelum dikembangkan untuk pengujian lanjutan.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.
Publisher: Lembaga Penerbit Penelitian Multidisipliner

PENDAHULUAN

Periodontitis merupakan penyakit inflamasi kronis yang merusak jaringan pendukung gigi dan dapat berkembang menjadi kehilangan perlekatan, pembentukan poket periodontal, serta kerusakan tulang alveolar. Kompleksitas biofilm subgingiva dan respons inflamasi pejamu menyebabkan pengendalian penyakit tidak selalu optimal hanya dengan intervensi mekanis, khususnya pada lokasi dengan akses terbatas (Abdulkareem dkk., 2023; Kwon dkk., 2021). Porphyromonas gingivalis merupakan salah satu mikroorganisme penting yang berkaitan dengan disbiosis periodontal dan memiliki berbagai faktor virulensi yang mendukung kolonisasi serta gangguan respons imun pejamu (Howard dkk., 2021; N. L. Silva & Cascales, 2021).

Scaling and root planing tetap menjadi dasar terapi periodontitis, tetapi terapi lokal dapat digunakan sebagai pendekatan tambahan untuk mempertahankan konsentrasi agen aktif lebih tinggi pada poket periodontal dan mengurangi paparan sistemik. Sistem penghantaran lokal telah dikembangkan dalam bentuk chip, film, fiber, gel, mikropartikel, dan nanopartikel, dengan tujuan memperpanjang waktu kontak bahan aktif pada lokasi penyakit (Annisa dkk., 2023; Rosa dkk., 2021). Review mutakhir menunjukkan bahwa hidrogel menarik karena dapat memberikan retensi lokal, biokompatibilitas, dan peluang pelepasan zat aktif secara terkontrol (Kumar dkk., 2025; Pan dkk., 2025).

Propolis merupakan bahan resin lebah yang mengandung flavonoid, asam fenolat, terpenoid, dan senyawa bioaktif lain. Bukti eksperimental menunjukkan aktivitas antimikroba propolis terhadap

berbagai bakteri oral, termasuk P. gingivalis, meskipun aktivitasnya dipengaruhi sumber botani, spesies lebah, metode ekstraksi, konsentrasi, dan sistem penghantaran (Alghutaimel dkk., 2024; Rana dkk., 2025). Pada propolis lebah tanpa sengat, komposisi kimia dan aktivitas biologis juga dapat berbeda menurut wilayah dan sumber tanaman. Karena itu, standardisasi ekstrak dan pemilihan sistem penghantaran menjadi bagian penting dalam pengembangan sediaan propolis untuk kedokteran gigi (Bankova dkk., 2021; Hossain dkk., 2022).

Dalam pengembangan chip periodontal, Carboxymethyl Cellulose (CMC) dan Hydroxyethyl Cellulose (HEC) berpotensi digunakan sebagai polimer hidrofilik karena kemampuan membentuk matriks hidrogel dan mempertahankan air. CMC banyak digunakan dalam biomaterial berbasis hidrogel, sedangkan HEC dapat meningkatkan kemampuan hidrasi dan karakteristik matriks; sifat akhir sangat bergantung pada konsentrasi polimer, derajat ikatan silang, pH, serta interaksi antarrantai (López & Richtering, 2021; Rahman dkk., 2021). Citric acid dapat berperan sebagai pengikat silang berbasis esterifikasi pada gugus hidroksil selulosa sehingga memengaruhi swelling dan sifat mekanik hidrogel (Ghorpade dkk., 2019; Nasution dkk., 2022).

Masalah ilmiah yang masih terlihat adalah adanya kesenjangan antara aktivitas antibakteri bahan aktif dan aktivitas antibakteri setelah bahan tersebut dimasukkan ke dalam matriks penghantaran. Ekstrak propolis dapat menunjukkan daya hambat pada uji difusi, tetapi efek tersebut dapat berubah setelah enkapsulasi dan pemuatan ke dalam hidrogel karena keterbatasan difusi, interaksi bahan aktif dengan polimer, densitas ikatan silang, dan karakteristik pelepasan zat aktif (Igata dkk., 2020; N. C. Silva dkk., 2025). Oleh sebab itu, tiga penelitian eksperimental yang dilakukan secara berurutan pada pengembangan chip periodontal berbasis CMC–HEC dan propolis Geniotrigona thoracica perlu dibaca sebagai satu rangkaian pengembangan: optimasi basis hidrogel, pembuktian keberhasilan enkapsulasi, dan evaluasi aktivitas antibakteri setelah pemuatan.

Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan hasil ketiga penelitian tersebut untuk menentukan formulasi basis hidrogel yang paling menjanjikan berdasarkan swelling dan kekuatan tarik, mengevaluasi karakteristik enkapsulasi ekstrak propolis melalui ukuran partikel dan FT-IR, serta membandingkan aktivitas antibakteri ekstrak propolis dengan aktivitas chip hidrogel yang telah memuat ekstrak terhadap P. gingivalis. Kebaruan artikel terletak pada pembacaan terpadu terhadap hubungan komposisi hidrogel enkapsulasi aktivitas antibakteri, sehingga kegagalan aktivitas antibakteri pada produk akhir tidak langsung ditafsirkan sebagai kegagalan bahan aktif, tetapi sebagai persoalan yang perlu dikaji pada tahap pelepasan dan interaksi matriks.

METODE PENELITIAN

Artikel ini merupakan studi eksperimental laboratorium terintegrasi yang menyatukan tiga penelitian pengembangan chip periodontal berbasis hidrogel. Ketiga penelitian dilakukan pada September 2024–Januari 2025 di laboratorium Universitas Sumatera Utara dan laboratorium terkait. Penelitian pertama mengoptimasi basis hidrogel CMC–HEC–citric acid melalui uji swelling, antibakteri, dan mekanik; penelitian kedua mengevaluasi enkapsulasi ekstrak propolis Geniotrigona thoracica menggunakan gelasi ionik berbasis kitosan–sodium tripolyphosphate (STTP) dan pemuatan ke hidrogel CMC–HEC; penelitian ketiga mengevaluasi aktivitas antibakteri chip periodontal yang telah mengandung ekstrak propolis pada konsentrasi 2,5%, 5%, dan 10%. Ketiga penelitian menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium dengan pengukuran setelah perlakuan.

Pada optimasi basis hidrogel, digunakan tiga formulasi: formulasi 1 terdiri atas 2 g CMC, 2 g HEC, dan 0,2 g citric acid (rasio CMC: HEC 1:1); formulasi 2 terdiri atas 2 g CMC, 3 g HEC, dan 0,2 g citric acid (1:2); dan formulasi 3 terdiri atas 2 g CMC, 4 g HEC, dan 0,2 g citric acid (1:3). Masing-masing kelompok dilakukan enam replikasi untuk rangkaian uji sesuai rancangan penelitian. Hidrogel disiapkan dengan melarutkan CMC dan HEC secara terpisah dalam akuades pada 60°C dengan pengadukan, kemudian kedua larutan dicampurkan dan citric acid ditambahkan sebagai pengikat silang. Matriks dimatangkan pada suhu ruang selama 24 jam dan dipotong menjadi chip berukuran sekitar 1 × 1 cm.

Uji swelling dilakukan setelah chip dikeringkan hingga bobot konstan dan direndam selama tujuh jam, kemudian rasio swelling dihitung berdasarkan perubahan bobot. Uji mekanik menggunakan Tensilon RTF 1350 pada kecepatan tarik 50 mm/menit pada suhu ruang. Uji antibakteri basis hidrogel menggunakan metode difusi agar Kirby–Bauer terhadap P. gingivalis pada media Brucella agar. Analisis regresi digunakan pada data swelling dan kekuatan tarik sesuai pengolahan statistik pada penelitian asal.

Untuk enkapsulasi, ekstrak propolis Geniotrigona thoracica disiapkan pada konsentrasi 2,5%, 5%, dan 10%. Larutan kitosan dibuat dengan melarutkan 1,0 g kitosan dalam 100 mL asam asetat 1%, sedangkan STTP 0,5 g dilarutkan dalam 50 mL akuades. Larutan kitosan dicampurkan dengan ekstrak propolis, kemudian STTP ditambahkan secara perlahan sambil diaduk hingga proses gelasi ionik berlangsung. Suspensi kemudian disentrifugasi dan dicuci untuk memperoleh partikel enkapsulasi. Karakterisasi dilakukan menggunakan Particle Size Analyzer dan FT-IR. Hidrogel yang telah matang kemudian direndam dalam suspensi partikel terenkapsulasi selama 12 jam dan dikeringkan kembali.

Aktivitas antibakteri ekstrak propolis sebelum pemuatan dan chip setelah pemuatan diuji terhadap P. gingivalis menggunakan difusi cakram Kirby–Bauer. Pada penelitian enkapsulasi digunakan lima kelompok, yaitu ekstrak propolis 2,5%, 5%, 10%, kontrol positif, dan kontrol negatif, masing-masing dengan lima replikasi. Pada penelitian chip digunakan chip dengan konsentrasi propolis 2,5%, 5%, dan 10%, kontrol positif berupa chip klorheksidin, serta kontrol negatif berupa chip tanpa ekstrak, masing-masing dengan lima replikasi. Diameter zona hambat diukur dalam milimeter. Data ekstrak propolis dianalisis menggunakan Kruskal–Wallis dan uji lanjut Mann–Whitney sesuai hasil penelitian asal.

Integrasi data dilakukan secara deskriptif-komparatif. Karena ketiga penelitian menggunakan tahapan dan unit eksperimen yang berbeda, data tidak dipool secara statistik dan tidak dilakukan meta-analisis internal. Interpretasi difokuskan pada pola hubungan antartahap pengembangan dan batasan transfer hasil dari satu penelitian ke penelitian lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil utama menunjukkan bahwa formulasi basis hidrogel sangat menentukan karakteristik fisik chip. Formulasi 1 dengan perbandingan CMC:HEC 1:1 memberikan swelling paling tinggi sebesar 21,6830 g/g dan kekuatan tarik paling tinggi sebesar 0,3273 MPa. Ketika proporsi HEC dinaikkan menjadi 1:2 dan 1:3, nilai swelling turun menjadi 7,1025 g/g dan 5,7653 g/g, sedangkan kekuatan tarik turun menjadi 0,1955 MPa dan 0,0426 MPa. Analisis regresi menunjukkan pengaruh formulasi terhadap swelling tidak signifikan ($R^2 = 0{,}813$; $p = 0{,}285$), sedangkan pengaruh formulasi terhadap kekuatan tarik signifikan ($R^2 = 0{,}998$; $p = 0{,}027$).

Tabel 1. *Komposisi formulasi basis hidrogel CMC–HEC–citric acid*

Formulasi	CMC (g)	HEC (g)	Citric acid (g)	Rasio CMC:HEC
F1	2	2	0,2	1:1
F2	2	3	0,2	1:2
F3	2	4	0,2	1:3

Tabel 1 memperlihatkan bahwa perubahan formulasi terutama dilakukan melalui peningkatan jumlah HEC dengan jumlah CMC dan citric acid tetap. Pola ini memungkinkan evaluasi pengaruh rasio polimer terhadap kemampuan menyerap air dan respons mekanik tanpa mengubah jumlah pengikat silang. Data asal menunjukkan bahwa formulasi 1 memberikan keseimbangan terbaik untuk

dua karakteristik fisik yang diuji.

Tabel 2. *Karakteristik fisik dan mekanik chip hidrogel*

Formulasi	Swelling (g/g)	Kekuatan tarik (MPa)	Interpretasi utama
F1 (1:1)	21,6830	0,3273	Tertinggi pada kedua parameter
F2 (1:2)	7,1025	0,1955	Menurun dibanding F1
F3 (1:3)	5,7653	0,0426	Terendah pada kedua parameter

Temuan tersebut sejalan dengan prinsip bahwa swelling ditentukan oleh keseimbangan antara afinitas hidrofilik polimer terhadap air dan kepadatan jaringan ikatan silang. Peningkatan densitas crosslinking cenderung membatasi ruang bebas untuk masuknya air, sedangkan struktur polimer yang lebih longgar dapat meningkatkan kapasitas swelling (Igata dkk., 2020; Nasution dkk., 2022). Pada sistem CMC, sifat reologi dan interaksi rantai juga dipengaruhi oleh konsentrasi polimer serta lingkungan kimia, sehingga perubahan komposisi dapat menghasilkan perubahan bermakna pada struktur dan respons mekanik gel (López & Richtering, 2021).

Penurunan kekuatan tarik pada F2 dan F3 menunjukkan bahwa peningkatan HEC tidak selalu menghasilkan matriks yang lebih kuat. Dalam data penelitian asal, viskositas yang lebih tinggi pada proporsi HEC yang lebih besar diduga mengganggu pembentukan hidrogel yang homogen sehingga respons mekaniknya menurun. Secara material, hasil ini penting karena chip periodontal memerlukan kombinasi kemampuan menyerap cairan, mempertahankan bentuk, dan bertahan selama periode kontak dengan lingkungan oral. Hidrogel yang terlalu mudah mengembang tetapi kehilangan integritas mekanik dapat mengalami perubahan dimensi atau pelepasan zat aktif yang tidak terkontrol. Karena itu, F1 dipilih sebagai basis paling menjanjikan untuk tahap pengembangan berikutnya.

Tahap kedua menunjukkan bahwa ekstrak propolis Geniotrigona thoracica dapat dienkapsulasi menggunakan metode gelasi ionik berbasis kitosan–STTP. Ukuran partikel yang diperoleh untuk konsentrasi 2,5%, 5%, dan 10% masing-masing adalah 0,30 µm, 0,28 µm, dan 1,39 µm. FT-IR menunjukkan pita serapan yang mendukung terbentuknya sistem kitosan–STTP–propolis. Secara konseptual, gelasi ionik memanfaatkan interaksi elektrostatik antara kitosan bermuatan positif dan polianion seperti STTP untuk membentuk jaringan partikel yang dapat menjebak senyawa aktif. Prinsip tersebut juga menjadi dasar berbagai sistem enkapsulasi berbasis kitosan untuk penghantaran senyawa bioaktif (Gutiérrez-Ruíz dkk., 2024; N. C. Silva dkk., 2025).

Tabel 3. *Karakteristik partikel enkapsulasi ekstrak propolis*

Konsentrasi propolis	Ukuran partikel	Konfirmasi FT-IR	Makna pengembangan
2,5%	0,30 µm	Positif	Mikropartikel; berhasil dienkapsulasi
5%	0,28 µm	Positif	Ukuran terkecil; berhasil dienkapsulasi
10%	1,39 µm	Positif	Ukuran lebih besar; berhasil dienkapsulasi

Aktivitas antibakteri ekstrak sebelum pemuatan juga menunjukkan pola dose-dependent pada rentang yang diuji. Ekstrak 2,5%, 5%, dan 10% menghasilkan rerata zona bening masing-masing 10,25 ± 0,250 mm, 13,60 ± 0,335 mm, dan 16,55 ± 0,447 mm, sedangkan kontrol positif mencapai 31,30 ± 0,311 mm dan kontrol negatif 0 mm. Uji Kruskal–Wallis menunjukkan perbedaan yang signifikan antarkelompok ($p < 0,001$). Hasil tersebut konsisten dengan laporan bahwa propolis memiliki aktivitas antibakteri terhadap P. gingivalis dan berbagai patogen oral, walaupun besarnya aktivitas dapat berubah menurut sumber propolis dan cara ekstraksi (Alghutaimel dkk., 2024; Rana dkk., 2025; Szulc dkk., 2018).

Tabel 4. *Perbandingan aktivitas antibakteri ekstrak propolis dan chip setelah pemuatan*

Kelompok	Rerata zona bening (mm)	SD (mm)	Kategori
Ekstrak propolis 2,5%	10,25	0,250	Kuat
Ekstrak propolis 5%	13,60	0,335	Kuat
Ekstrak propolis 10%	16,55	0,447	Kuat
Kontrol positif	31,30	0,311	Sangat kuat
Kontrol negatif	0	0	Tidak ada
Chip propolis 2,5%	0	0	Tidak ada
Chip propolis 5%	0	0	Tidak ada
Chip propolis 10%	0	0	Tidak ada

Temuan paling penting dari integrasi tiga penelitian adalah adanya perbedaan yang tajam antara aktivitas ekstrak dan aktivitas produk chip. Ekstrak propolis yang diuji secara langsung menghasilkan zona bening, tetapi setelah enkapsulasi dan pemuatan ke matriks chip, ketiga konsentrasi

menghasilkan zona hambat 0 mm. Dengan demikian, hasil ini tidak tepat ditafsirkan bahwa propolis Geniotrigona thoracica tidak memiliki aktivitas antibakteri. Sebaliknya, data menunjukkan bahwa aktivitas bahan aktif belum dapat ditransfer secara efektif menjadi aktivitas antibakteri produk akhir pada konfigurasi chip yang diuji.

Salah satu penjelasan yang paling logis adalah keterbatasan pelepasan dan difusi bahan aktif dari matriks hidrogel. Sistem penghantaran lokal memang dirancang untuk mempertahankan obat pada lokasi target, tetapi keberhasilan sistem tidak hanya ditentukan oleh keberadaan zat aktif; ukuran pori, densitas crosslink, interaksi polimer–zat aktif, derajat swelling, dan kinetika pelepasan menentukan apakah zat aktif dapat mencapai konsentrasi efektif di lingkungan sekitarnya (Pan dkk., 2025; Wang dkk., 2026). Sistem hidrogel yang memiliki retensi tinggi tetapi pelepasan rendah dapat memberikan hasil antibakteri yang lemah pada uji difusi, meskipun bahan aktifnya sendiri aktif.

Perbedaan antara hasil ekstrak dan chip juga dapat dikaitkan dengan karakteristik citric acid dan matriks CMC–HEC. Citric acid membentuk ikatan silang dengan gugus hidroksil selulosa, sehingga meningkatkan stabilitas matriks tetapi pada tingkat tertentu dapat mengurangi ruang bebas dan mobilitas molekul. Literatur mengenai hidrogel selulosa menunjukkan bahwa perubahan derajat crosslinking dapat mengubah swelling, sifat mekanik, dan pelepasan senyawa aktif (Rahman dkk., 2021; Sun dkk., 2024). Dengan kata lain, F1 yang paling baik untuk swelling dan tensile strength belum tentu merupakan formulasi paling baik untuk pelepasan propolis.

Temuan tersebut memperlihatkan bahwa optimasi chip periodontal seharusnya menggunakan pendekatan multiobjektif. Optimasi tidak cukup hanya memilih formulasi dengan swelling atau kekuatan tarik tertinggi, tetapi perlu memasukkan efisiensi enkapsulasi, drug loading, profil pelepasan, mucoadhesion, stabilitas, biokompatibilitas, serta aktivitas antibiofilm. Literatur terkini mengenai hidrogel periodontal menekankan bahwa sistem yang ideal perlu memiliki retensi lokal yang memadai, degradasi yang sesuai, kemampuan melepaskan agen aktif secara terkontrol, dan keamanan terhadap jaringan periodontal (Kumar dkk., 2025; Pan dkk., 2025).

Dari sisi bahan aktif, hasil skrining fitokimia pada penelitian asal menunjukkan keberadaan beberapa kelompok metabolit sekunder, termasuk flavonoid, alkaloid, saponin, tanin, terpenoid, dan steroid. Secara biologis, kelompok senyawa tersebut dapat berkontribusi terhadap aktivitas antimikroba melalui mekanisme yang berbeda, tetapi keberadaan metabolit pada skrining kualitatif tidak dapat dipakai sebagai bukti bahwa semua senyawa tersedia secara bebas setelah enkapsulasi. Standardisasi kandungan dan kuantifikasi senyawa aktif karena itu diperlukan pada penelitian berikutnya (Bankova dkk., 2021; Kasote dkk., 2022).

Secara klinis, penggunaan chip lokal memiliki rasional karena dapat menempatkan agen aktif langsung pada poket periodontal. Bukti klinis dan systematic review menunjukkan bahwa chip klorheksidin sebagai terapi tambahan dapat memberikan manfaat pada sejumlah parameter periodontal, walaupun besarnya efek bervariasi antarpopulasi dan protokol (Annisa dkk., 2023; Rosa dkk., 2021). Hasil penelitian ini memberikan arah alternatif berbasis bahan alam, tetapi belum mendukung penggunaan klinis propolis–CMC/HEC karena aktivitas antibakteri produk akhir belum terbukti. Tahap pengembangan berikutnya harus memprioritaskan studi pelepasan, antibiofilm, sitotoksisitas, stabilitas, dan uji in vivo sebelum translasi klinis.

Keterbatasan utama artikel ini adalah bahwa integrasi dilakukan terhadap tiga penelitian eksperimental yang memiliki unit eksperimen dan tujuan spesifik berbeda. Oleh karena itu, hasil tidak dapat dianggap sebagai satu eksperimen tunggal dengan satu kelompok sampel yang sama, dan tidak dilakukan penggabungan statistik antarpenelitian. Selain itu, uji antibakteri menggunakan difusi cakram tidak secara langsung menggambarkan kinetika pelepasan atau aktivitas antibiofilm dalam kondisi periodontal. Meskipun demikian, integrasi ini bernilai karena memperlihatkan secara empiris bahwa keberhasilan pada tahap bahan aktif dan enkapsulasi dapat kehilangan performa ketika masuk ke matriks produk akhir.

SIMPULAN

Integrasi tiga penelitian menunjukkan bahwa pengembangan chip periodontal hidrogel berbasis CMC–HEC dan ekstrak propolis Geniotrigona thoracica memiliki prospek sebagai platform penghantaran lokal, tetapi masih memerlukan optimasi pada tahap pelepasan zat aktif. Formulasi CMC:HEC 1:1 dengan 2 g CMC, 2 g HEC, dan 0,2 g citric acid memberikan swelling tertinggi sebesar 21,6830 g/g dan kekuatan tarik tertinggi sebesar 0,3273 MPa sehingga menjadi basis paling menjanjikan secara fisik. Enkapsulasi propolis 2,5%, 5%, dan 10% melalui gelasi ionik menghasilkan partikel berukuran 0,30, 0,28, dan 1,39 µm serta menunjukkan keberhasilan enkapsulasi berdasarkan FT-IR. Ekstrak propolis sebelum pemuatan memiliki aktivitas antibakteri terhadap P. gingivalis, dengan zona bening meningkat dari 10,25 menjadi 16,55 mm, tetapi chip hidrogel yang telah memuat ekstrak tidak menghasilkan zona hambat pada seluruh konsentrasi. Dengan demikian, titik kritis pengembangan bukan lagi sekadar keberadaan dan enkapsulasi propolis, melainkan kemampuan matriks melepaskan zat aktif dalam jumlah yang memadai dan tepat waktu. Penelitian selanjutnya perlu mengoptimasi densitas crosslink, drug loading, profil pelepasan, mucoadhesion, aktivitas antibiofilm, biokompatibilitas, dan efektivitas in vivo sebelum aplikasi klinis.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan formulasi F1 sebagai titik awal optimasi, kemudian menguji beberapa tingkat citric acid dan rasio CMC–HEC untuk mendapatkan keseimbangan antara swelling, kekuatan mekanik, dan pelepasan propolis. Uji drug-release berbasis waktu, kadar senyawa aktif, minimum inhibitory concentration, minimum bactericidal concentration, dan biofilm P. gingivalis perlu ditambahkan. Evaluasi sitotoksisitas terhadap sel jaringan periodontal serta uji stabilitas dan in vivo juga diperlukan sebelum formulasi dipertimbangkan sebagai kandidat terapi adjunctive.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara, Departemen Periodonsia, serta laboratorium yang mendukung proses formulasi hidrogel, ekstraksi dan karakterisasi propolis, pengujian mikrobiologi, analisis swelling, dan pengujian mekanik. Apresiasi juga disampaikan kepada pembimbing dan penguji yang memberikan arahan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulkareem, A. A., Al-Taweel, F. B., Al-Sharqi, A. J., Gul, S. S., Sha, A., & Chapple, I. L. C. (2023). Current concepts in the pathogenesis of periodontitis: From symbiosis to dysbiosis. *Journal of Oral Microbiology*, *15*(1), 2197779. https://doi.org/10.1080/20002297.2023.2197779

Alghutaimel, H., Matoug-Elwerfelli, M., Alhaji, M., Albawardi, F., Nagendrababu, V., & Dummer, P. M. H. (2024). Propolis use in dentistry: A narrative review of its preventive and therapeutic applications. *International Dental Journal*, *74*(3), 365–386. https://doi.org/10.1016/j.identj.2024.01.018

Annisa, Z. U., Sulijaya, B., Tadjoedin, E. S., Hutomo, D. I., & Masulili, S. L. (2023). Effectiveness of chlorhexidine gels and chips in periodontitis patients after scaling and root planing: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, *23*, 819.

Bankova, V., Trusheva, B., & Popova, M. (2021). Propolis extraction methods: A review. *Journal of Apicultural Research*, *60*(5), 734–743.

Ghorpade, V. S., Dias, R. J., Mali, K. K., & Mulla, S. I. (2019). Citric acid crosslinked carboxymethylcellulose-polyvinyl alcohol hydrogel films for extended release of water soluble basic drugs. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, *52*, 421–430.

Gutiérrez-Ruíz, S. C., Cortes, H., & González-Torres, M. (2024). Optimize the parameters for the

synthesis by the ionic gelation technique, purification, and freeze-drying of chitosan-sodium tripolyphosphate nanoparticles for biomedical purposes. *Journal of Nanobiotechnology*, *18*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s12951-024-02344-1

Hossain, R., Quispe, C., & Khan, R. A. (2022). Propolis: An update on its chemistry and pharmacological applications. *Chinese Medicine*, *17*, 100. https://doi.org/10.1186/s13020-022-00651-2

Howard, K. C., Gonzalez, O. A., & Garneau-Tsodikova, S. (2021). Porphyromonas gingivalis: Where do we stand in our battle against this oral pathogen? *RSC Medicinal Chemistry*, *12*(5), 666–704. https://doi.org/10.1039/D0MD00424C

Igata, M., Meinert, C., & Hutmacher, D. W. (2020). Hydrogels as drug delivery systems: A review of current characterization and evaluation techniques. *Pharmaceutics*, *12*(12), 1188. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12121188

Kasote, D. M., Bankova, V., & Viljoen, A. (2022). Propolis: Chemical diversity and challenges in quality control. *Phytochemistry Reviews*, *21*(6), 1887–1911. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11101-022-09816-1

Kumar, S. S., Sonthalia, M., Jaiswal, A. K., Sadanandan, S., & Saritha, A. (2025). Highly tunable coconut shell lignin-gelatin crosslinked hydrogel for controlled drug delivery in wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*, *4*(148311), 330. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.148311

Kwon, T., Lamster, I. B., & Levin, L. (2021). Current concepts in the management of periodontitis. *International Dental Journal*, *71*(6), 462–476.

López, C. G., & Richtering, W. (2021). Oscillatory rheology of carboxymethyl cellulose gels: Influence of concentration and pH. *Carbohydrate Polymers*, *267*, 118117. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118117

Nasution, H., Harahap, A., & Dalimunthe, N. F. (2022). Hydrogel and effects of crosslinking agent on cellulose-based hydrogels: A review. *Gels*, *8*(9), 568.

Pan, Q., Zong, Z., Li, H., Xie, L., Zhu, H., Wu, D., Liu, R., He, B., & Pu, Y. (2025). Hydrogel design and applications for periodontitis therapy: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *284*, 137893. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137893

Rahman, M. S., Hasan, M. S., & Nitai, A. S. (2021). Recent developments of carboxymethyl cellulose. *Polymers*, *13*(8), 1345. https://doi.org/10.3390/polym13081345

Rana, A., Malik, A., & Sobti, R. C. (2025). Anti-bacterial properties of propolis: A comprehensive review. *Current Microbiology*, *82*(10), 479. https://doi.org/10.1007/s00284-025-04456-y

Rosa, C. D., Gomes, J. M. L., & Moraes, S. L. D. (2021). Use of chlorhexidine chip after scaling and root planing on periodontal disease: A systematic review and meta-analysis. *The Saudi Dental Journal*, *33*(1), 1–10.

Silva, N. C., Chevigny, C., Domenek, S., Almeida, G., Assis, O. B. G., & Martelli-Tosi, M. (2025).

Nanoencapsulation of active compounds in chitosan by ionic gelation: Physicochemical, active properties and application in packaging. *Food Chemistry*, *463*(2), 141129. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141129

Silva, N. L., & Cascales, E. (2021). Molecular strategies underlying Porphyromonas gingivalis virulence. *Journal of Molecular Biology*, *433*(7), 166836. https://doi.org/10.1016/j.jmb.2021.166836

Sun, Y., Wang, J., Duanxin, L., & Cheng, F. (2024). The recent progress of the cellulose-based antibacterial hydrogel. *Gels*, *10*(2), 109.

Szulc, M., Zakrzewska, A., & Zborowski, J. (2018). Local drug delivery in periodontitis treatment: A review of contemporary literature. *Dental and Medical Problems*, *55*(3), 333–342. https://doi.org/10.17219/dmp/94890

Wang, X., Yu, Y., Li, X., Liu, C., Lu, Z., & Wang, Z. (2026). Ginseng-derived exosomes-loaded thermosensitive hydrogel for the treatment of periodontitis. *Molecular Pharmaceutics*, *22*(3). https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.5c01404